

Arrecifes coralinos del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, de Turrialba, Costa Rica

Teresita Aguilar^{1,2} y Jorge Cortés²

¹Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 214-2060, San José, Costa Rica. Fax: (506) 234-2347. Correo electrónico: aaguilar@cariari.ucr.ac.cr

²Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, San José 2060, Costa Rica. Fax: 207-3280. Correo electrónico: jcortes@cimar.ucr.ac.cr

(Recibido 19-XI-2000.Revisado 14-VI-2001. Aceptado 02-XI-2001)

Abstract: The outcrops at Jesús María (Turrialba, Cartago Province, Costa Rica) present limestone sequences 12 to 30 m thick (packstones: biolithites, biomicrites; and wackstones: biosparites, biomicrosparites), sandstones and conglomerates of Upper Oligocene-Lower Miocene age, correlated to the Punta Pelada Formation. The limestones are characterized by patch reefs with an irregular distribution and a reduced lateral extension (50 m), composed of corals (40%), calcareous algae and foraminiferans (30%), mollusks (20%), and in minor amounts fragments of barnacles, decapods, echinoderms and bryozoans. They consisted of low diversity communities possibly due to diverse geographical, geological and tectonic factors: a narrow continental shelf, very shallow and isolated environments, sea level fluctuations, and exposure to clastic sedimentation associated with intermittent volcanic activity. Equity was also low, with corals making up 40% of all macrofossils, and one species, *Antiguastrea cellulosa*, as predominant (80% of the corals present). These bioconstructions were developed in an open circulation lagoon environment with transitions, in several occasions, to shallower environments represented by clastic sediments.

Key words: Fossil reef, Oligocene, Miocene, Costa Rica, patch reef, *Antiguastrea*.

Los afloramientos de plataformas carbonatadas de edad Oligoceno-Mioceno Inferior son muy escasos en Costa Rica (Aguilar 1997). En la localidad de Jesús María de Turrialba, Cartago, Costa Rica, se han encontrado varios parches arrecifales fósiles de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior. Esta área se ubica geológicamente en la cuenca de Limón, corresponde a la región tras-arco, originada como producto de la subducción desde el Campaniano de la Placa Farallón bajo la Placa Caribe y posteriormente, la Placa Coco (Astorga *et al.* 1991). En este marco tectónico se desarrollaron localmente plataformas carbonatadas en aguas de poca profundidad.

Las calizas de Jesús María contienen corales y algas, además restos de otros invertebrados de aguas someras (Aguilar 1999). Se encuentran muy bien expuestas debido a que constituyen canteras de extracción de materiales (tajos), lo cual también produce que cambien mucho con el tiempo, tanto en su morfología como en su contenido fosilífero. Estas calizas son pequeñas bioconstrucciones (parches), los cuales sobreyacen un sustrato marino, originalmente irregular, compuesto por rocas sedimentarias de ambiente profundo, correspondientes a la Formación Senosri de edad Oligoceno. Estos parches arrecifales están sobreyacidos por rocas clásticas finas del Mioceno de la Formación Us-

Tajo A

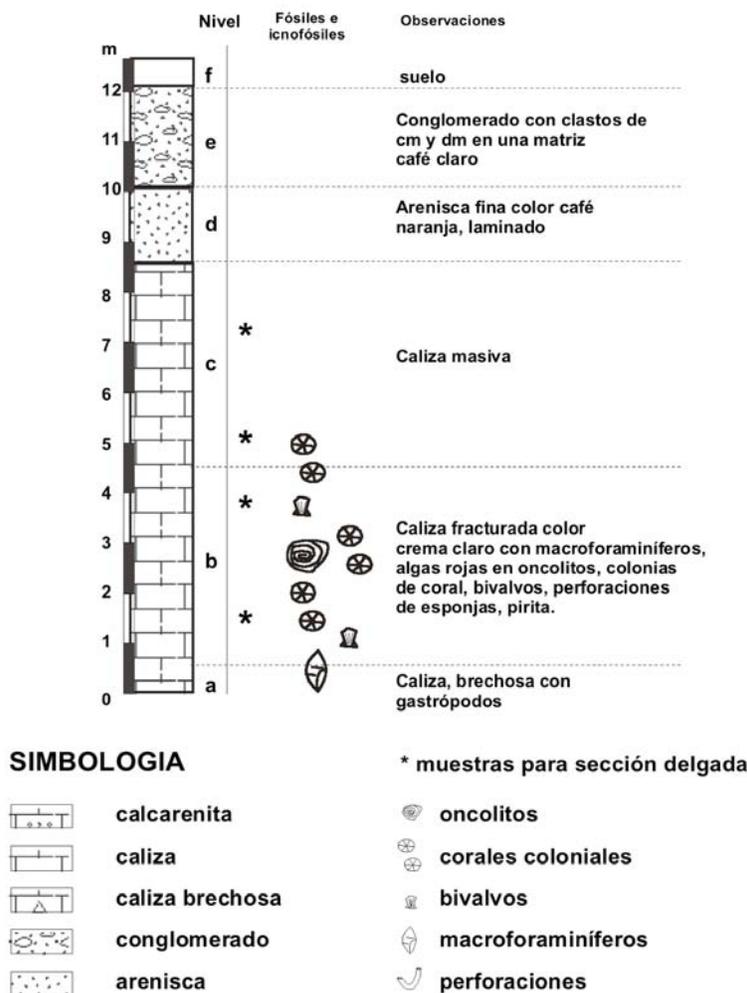


Fig. 1. Columnas estratigráficas detalladas de Jesús María, tajo A, que presenta el contacto entre las rocas carbonatadas y las rocas clásticas.

cari. En éste trabajo se describen las secuencias carbonatadas de tres afloramientos correlacionables con la Formación Punta Pelada, que representan una de las pocas localidades con arrecifes fósiles de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior en Costa Rica.

Las localidades estudiadas, se están reduciendo rápidamente, debido a que se encuentran expuestas por los trabajos de extracción de material para la producción de carbonato de calcio (CaCO_3), sin embargo, los resultados obtenidos con esta investigación permiten conocer algu-

nas condiciones que han afectado y afectan actualmente el desarrollo de comunidades arrecifales. En este trabajo se describe la estratigrafía y el ambiente de formación de los parches arrecifales de Jesús María, en un trabajo anterior se describieron los organismos presentes en ellos (Aguilar 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los afloramientos estudiados se encuentran en tajos cerca del pueblo Jesús María de Turrial-

Tajo B



Fig. 2. Columna estratigráfica detallada de Jesús María, tajo B, las colonias de coral presentan muchas perforaciones.

ba, Provincia de Cartago, Costa Rica (9°55.8'N-83°39.2'W', Hoja Topográfica Tucurrique, 3445-I IGN, escala 1: 50,000).

Se hicieron estudios geológicos estratigráficos de los tajos Jesús María (Fig. 1, 2, 3), donde se elaboraron columnas estratigráficas representativas. En estas secuencias se realizó un muestreo sistemático con recolección de muestras de roca donde se observaron cambios litológicos. Se elaboraron 40 secciones delgadas a

partir de un muestreo vertical selectivo de las diferentes facies, las cuales fueron utilizadas para el análisis de microfacies y el estudio de microfósiles. Se hicieron lavados para obtener especímenes micropaleontológicos con el fin de determinar las edades y los ambientes de deposición. La recolección de los macrofósiles se hizo tratando de cubrir la mayor cantidad posible, con el fin de obtener una muestra representativa de los componentes de las asociaciones.



Fig. 3. Columna estratigráfica detallada de Jesús María, tajo C, se observan tres eventos claros de instalación de parches arrecifales.

Sin embargo, hubo dificultades para obtener representatividad de las grandes colonias de corales, y de otros organismos más pequeños, por encontrarse en una caliza muy masiva. Debido a esto, se recolectó mucho material acumulado producto de las labores de explotación del tajo, cuando fue posible relacionarlo con la capa a la que pertenecían. Este procedimiento puede alterar los resultados en cuanto a la abundancia de unos grupos con respecto a otros, pero permite preservar en una colección ejemplares que

pronto serían destruidos por el molino.

Se realizó un análisis de la estructura de las diferentes comunidades, con base en la diversidad específica, determinando el papel ecológico que cumplieron los diferentes organismos encontrados. Se siguieron los criterios indicados por James (1983), Fagerstrom (1988) y Jackson (1992) con base en la diversidad específica, el papel ecológico que cumplieron los organismos y los sedimentos asociados.

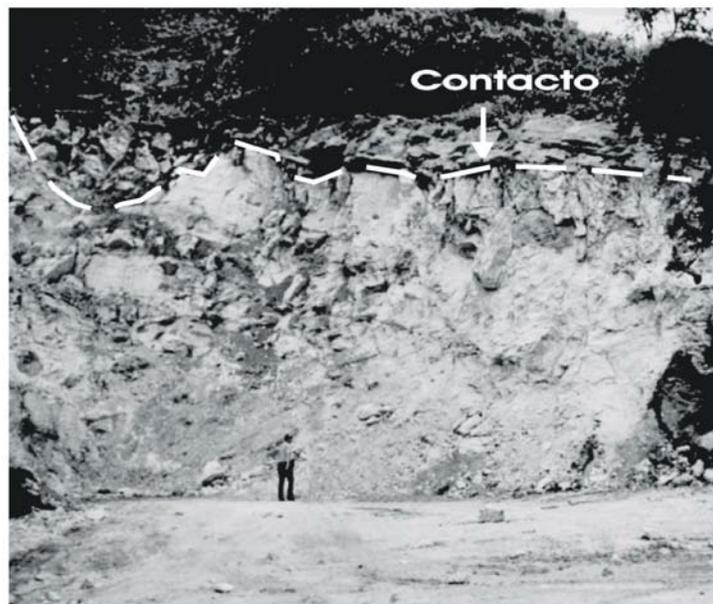


Fig. 4. Contacto entre las calizas arrecifales de la Formación Punta Pelada y los sedimentos siliciclásticos de la Formación Uscari.

RESULTADOS

Los tajos A, B y C (Fig. 1,2,3, respectivamente), presentan de la base hacia el techo una secuencia de calizas brechosas, calizas masivas, calizas bioclásticas, con intercalaciones de conglomerados y areniscas, con espesores aflorantes entre 12 y 30 m, con fuertes variaciones laterales y relativamente poca extensión (aproximadamente 50 m de largo) (Fig. 4). En general, los afloramientos representan estratos de calizas autóctonas (Fig. 1, 2, 3), con sedimentos de transfondo autóctonos (Astorga, com. pers.1997), sobreyacidos por una secuencia de areniscas y lodolitas volcaniclásticas (Fig. 4).

El análisis petrográfico, indica que las rocas son *packstones* (biolititas, biomicritas) y *wackestones* (bioesparitas y biomicroesparitas) de corales, algas rojas calcáreas y foraminíferos con porcentajes menores de equinodermos, crustáceos, briozoos y moluscos. Además, *grainstones*, conformados principalmente por corales, con restos de algas, moluscos y foraminíferos (según Dunham 1962, Folk 1962, Embry y Klovan 1971 en James 1983). Son para-secuencias tipo CU ("coarsening upward"), que se inician con una facies arrecifal (biolititas), la

cual en algunas partes pasa a una facies lagunar (Fig. 3, nivel e), o a facies de canal con areniscas y conglomerados relleno de canales de incisión (Fig. 3, nivel f), debido a la presencia de eventos de alta energía, asociados con tormentas. Sobre éstas se instalan de nuevo parches arrecifales, pasando en la parte superior de la secuencia a conglomerados con gradación normal, los cuales pueden estar asociados a "fan deltas", por retrabajo de los acantilados debido a un cambio del nivel del mar, lo cual se infiere de la organización interna de los conglomerados (gradación, laminación) y de la presencia de fauna marina entre los clastos gruesos (Fig. 3).

El tajo A ubicado aproximadamente en la parte central (Fig. 1), presenta una secuencia carbonática más pura, con paquetes de calizas brechosas (Fig. 1, nivel a), fracturadas y masivas (Fig. 1, nivel b, c) sobreyacidas por materiales clásticos finos, areniscas y conglomerados. El tajo B (Fig. 2), presenta en la base una caliza arrecifal, con colonias de coral perforadas en la parte superior por *Lithophaga* (Fig. 2, nivel a; Fig. 5), pasando a una caliza brechosa con lentes de conglomerado. Posteriormente hay un evento pequeño de calizas arrecifales (Fig. 2, nivel f), para culminar en un estrato masivo de

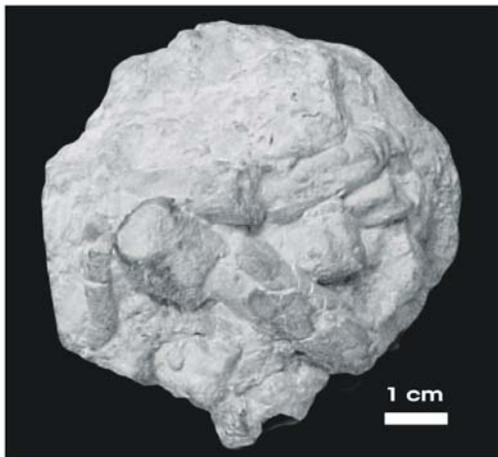


Fig. 5. Parte superior del parche arrecifal con perforaciones de *Lithophaga* sp., Jesús María, tajo B.

calcarenitas. En el tajo C (Fig. 3), se puede observar en tres puntos diferentes, el paso de facies arrecifales a facies arenosas y conglomerádicas (Fig. 3, niveles a-b-c-d; e-f; g-h), que evidencian cambios en la energía del medio u oscilaciones en el nivel del mar, para culminar con la depositación de una secuencia volcániclaística en coincidencia con un intervalo de ascenso del nivel del mar (Fig. 4).

La mayoría de los restos se encuentran alterados por procesos diagenéticos de aragonita a calcita, principalmente, por lo que se preservan de manera diversa: corales: sustituidos y recristalizados; moluscos: gastrópodos, en su mayoría como moldes y bivalvos, muchos como moldes, pero los péctenes y las ostras conservan su esqueleto; igualmente otros grupos como cangrejos, bryozoos, balanídeos y algas. Los equinodermos conservan su concha original.

El estudio detallado de los macrofósiles (Aguilar 1999), permitió determinar la presencia de 21 especies de gastrópodos (incluyendo el posible hallazgo de una especie nueva), de las cuales tres especies son herbívoras, 17 carnívoras y una de hábitos alimentarios desconocidos; 10 especies de bivalvos, la mayoría de hábito epibéntico, aunque se presentan individuos endobénticos asociados a los sedimentos y perforadores en los corales (*Lithophaga*). Se reconocieron tres especies de corales hermatípicos, con un predominio muy marcado de *Antiguastrea cellulosa* (Fig. 6) que forma colonias

masivas con diámetros máximos de 40 cm, a veces asociado a formas del género *Stylophora* (Fig. 2, nivel a) y en algunas capas se encuentra una especie muy abundante de un coral solitario no identificado.

Entre los macrofósiles más importantes, por la relación masa-volumen, están los corales (40%), las algas calcáreas (30%) y los moluscos (20%); en menor cantidad se encuentran restos de cirripedios, decápodos, equinodermos y briozoos.

En general, se puede decir que la fauna y flora analizadas se desarrollaron durante el Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, según se puede deducir del estudio de los moluscos (Aguilar 1999), los corales (A. Budd, com. escrita 1993) y de los foraminíferos (A. Bolz, com. escrita 1991).

Por encontrarse organismos de una biocenosis, en este caso de ambiente arrecifal y restos transportados de ambientes vecinos posiblemente de una costa rocosa cercana (tafocenosis), se pudo inferir que los organismos se desarrollaron en ambientes marinos de poca profundidad (menor a 80 m).

DISCUSION

Estratigrafía y ambiente sedimentario:

Las rocas de la localidad de Jesús María han sido poco estudiadas y en algunas ocasiones han sido confundidas con las calizas de Las Ánimas (Fernández-Solórzano 1987) que datan del Eoceno. Las plataformas estudiadas corresponden con la Formación Punta Pelada, descrita por Dengo (1962) como Formación Masachapa para el Pacífico de Costa Rica. Diferentes autores han documentado rocas asociadas a ésta formación. Baumgartner *et al.* (1984) las denomina "arenisca y calcarenita Punta Peladas", constituida por una secuencia de areniscas finas calcáreas, macisas, calcarenitas bioclásticas ricas en macroforaminíferos y equinodermos, con una edad Oligoceno tardío. Calvo (1987) la define originalmente como Miembro Punta Pelada dentro de la Formación El Carmen (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), para la vertiente Pacífica de Costa Rica; constituido por calizas con macroforaminíferos y arenitas carbonatadas que conforman barras carbonatadas. Posteriormente es ascendida por Sprechmann *et al.* (1993,

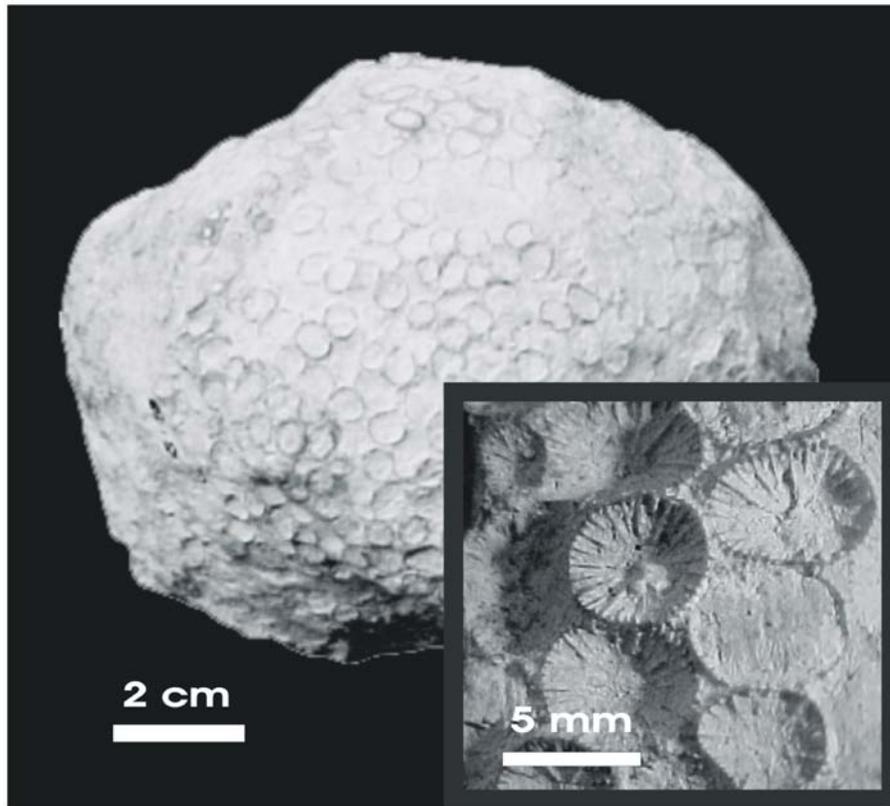


Fig. 6. *Antiguastrea cellulosa*, colonia pequeña.

1994) al rango de Formación, asignándole una edad del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior y caracterizada por asociaciones de macroforaminíferos (Miogypsinidae) o por estar sobreyacida por sedimentos siliciclásticos estuarinos y/o deltáicos del Mioceno Inferior. Además, extendió su distribución hacia otras localidades del país (e.g. Turrialba).

La Formación Punta Pelada está limitada por dos discordancias regionales muy importantes, la del Oligoceno Inferior/ Superior y la del Oligoceno Superior/ Mioceno (Fig. 7). Su estratotipo se ubica en la localidad de Punta Pelada, Pacífico Norte de Costa Rica, está constituida por calizas con macroforaminíferos y arenitas carbonatadas, las cuales conforman barras.

En la localidad de Jesús María, las secciones analizadas se asocian con la Formación Punta Pelada, tanto en aspectos como edad, posición estratigráfica, ambiente de depositación y condiciones de sedimentación. Sin embargo, en Je-

sús María las secuencias están constituidas por alternancias de calizas masivas, calizas brechosas, areniscas y conglomerados, en los cuales se observan bioconstrucciones de corales y algas, lo cual no es mencionado por Calvo (1987) para la localidad tipo de la formación.

Bolz (com. escrita 1991), considera que en el Tajo Jesús María (Fig. 1) las calizas son alóctonas, constituidas por bloques tanto del Eoceno Superior (Formación Las Ánimas), como del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (Formación Punta Pelada) y están sobreyacidas por una secuencia siliciclástica del Mioceno Inferior (Fig. 4). Sin embargo, el estudio de otros afloramientos en la localidad de Jesús María (Fig. 2, 3), documenta la existencia de estratos de caliza autóctonos, con intercalaciones de areniscas carbonatadas finas, con muchos moluscos, areniscas gruesas y conglomerados. Además, los sedimentos de trans fondo son autóctonos (Astorga, com. pers 1997).

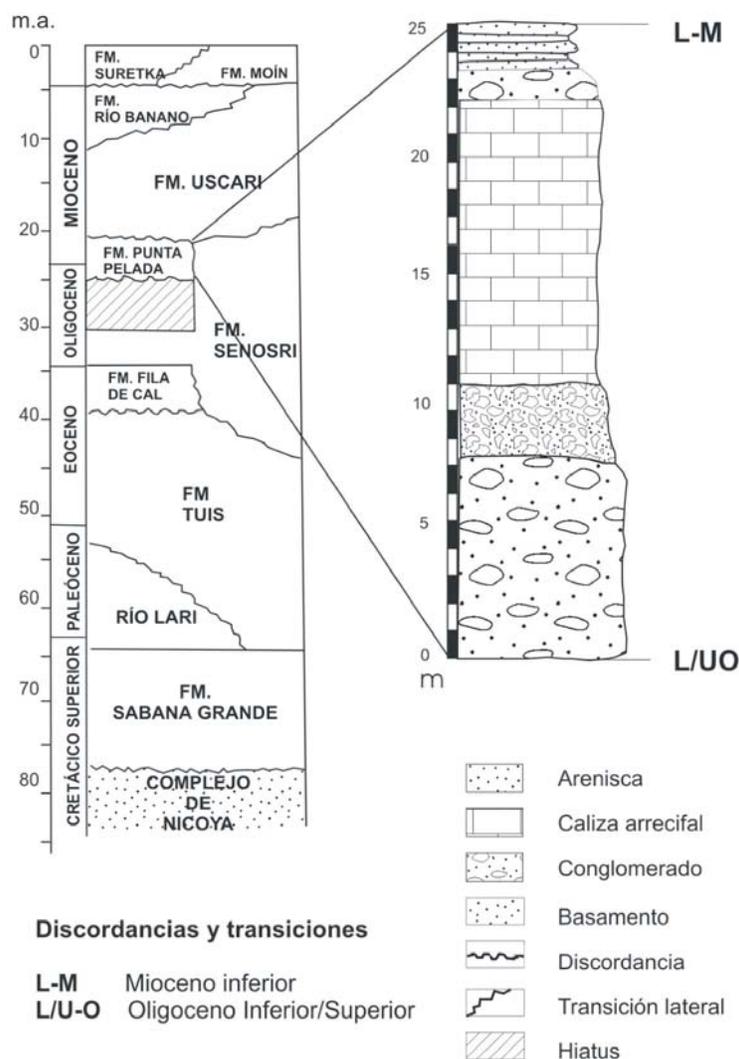


Fig. 7. Cuadro de correlación estratigráfica de la Cuenca de Limón y columna esquemática de la Formación Punta Pelada, Jesús María. Modificada de Sprechmann *et al.* (1994).

Las secuencias se depositaron en un ambiente de poca profundidad, desarrollándose pequeñas plataformas carbonatadas en una zona con influencia ocasional de corrientes fuertes y aporte de material terrígeno. El análisis de las microfácies indica un ambiente de depositación tipo "lagoon" con circulación abierta (laguna de la plataforma de circulación abierta, según Flügel 1982) para las calizas ("wackestones"/bioparita y "packstones"/biomicritas); y áreas poco profundas con energía moderadamente alta para las calizas con oncoides, areniscas y conglomerados (*sensu* Flügel 1982).

Parches arrecifales: Los afloramientos estudiados (Fig. 1, 2, 3) se consideran arrecifes de parche debido a su tamaño pequeño (2-5 m de espesor) y a su distribución irregular, compuestos por comunidades de reducida diversidad, que aprovecharon cortos lapsos de estabilidad en el medio para crecer. Estos arrecifes no se desarrollaron completamente, lo cual permite inferir la existencia de uno o varios de los siguientes factores:

- plataformas angostas, que no permitieron el desarrollo de grandes arrecifes, esto se puede deducir de la evolución geológica-tectónica de Costa Rica para esa época,

- excesiva sedimentación clástica producto de una fuerte actividad volcánica,
- cambios en la energía del medio, con eventos que interrumpieron el crecimiento,
- cambios del nivel del mar, posiblemente debidos a levantamientos tectónicos.

Las rocas estudiadas representan biocenosis (arrecifes coralinos asociados a algas, moluscos, equinoideos y cangrejos) y tafocenosis (acumulaciones de restos transportados de una costa rocosa no muy lejana, como balánideos y ostras) de organismos que vivieron en ambientes marinos, tropicales y someros (Thorson 1957, Fernández 1987), las cuales son de baja diversidad y baja equidad.

La diversidad es baja principalmente entre los constructores (tres géneros de corales, con una especie cada uno) en comparación con otros arrecifes del Oligoceno (14 géneros en Puerto Rico, Frost *et al.* 1983), o con arrecifes modernos del Caribe de Costa Rica (37 especies conocidas, Cortés y Guzmán 1985, Cortés 1996/1997). Este hecho contrasta con lo señalado por Budd (2000) al referirse al Oligoceno Superior-Mioceno Inferior como una época en que los arrecifes de la región Caribe, se desarrollaron bien y tuvieron una diversidad alta. La baja diversidad de las asociaciones, también podría indicar que se desarrollaron en un régimen sedimentario inestable, con episodios de mucha sedimentación. Otras causas menos probables serían fluctuaciones de la temperatura, salinidad, intensidad de las olas, tormentas, baja penetración de la luz. Dos posibles causas biológicas son desarrollo de comunidades en una región aislada de baja diversidad, o que corresponden a comunidades originalmente compuestas por un bajo número de especies (debido a un importante evento de extinción acaecido en el Oligoceno, Flügel & Flügel-Kahler 1992). Además, la baja diversidad específica puede deberse a que estas comunidades se desarrollaron a muy poca profundidad donde las perturbaciones ambientales son mayores y en una plataforma estrecha producto de una tectónica muy activa (Jackson 1991). El grupo que presenta mayor diversidad específica son los moluscos, con al menos 31 especies entre gastrópodos y bivalvos, siendo más diversos los primeros, aunque los bivalvos producen la mayor cantidad de biomasa.

La equidad también es muy baja, presentándose en el caso de los corales un predominio claro de *A. cellulosa* (80% de los corales presentes) y en el caso de los moluscos, la especie con mayor número de individuos preservados es el bivalvo *Strigilla* sp. con 30 individuos (36.6%), seguido por el gastrópodo *Oliva* con 28 individuos recolectados (23.25%), en contraposición con géneros representados por un sólo individuo (*Hyotissa*, *Globularia*, *Voluta*).

Del análisis de las secuencias se puede deducir que el sustrato primario fue arenoso, estable y firme (aunque en algunas partes blando), el cual fue colonizado por algas, cangrejos, gastrópodos y bivalvos endobénticos. El sustrato secundario, formado por la acumulación de fragmentos grandes de esqueletos, fue un sustrato duro, que permitió la colonización por organismos epilíticos y el reclutamiento de constructores. El sustrato firme fue colonizado por organismos endobénticos, epibénticos vágiles y hemisésiles (bivalvos con bisus y libres). Además, las algas colonizaron un sustrato duro secundario que formó el núcleo de los oncoides. La presencia de endolitismo (organismos que viven dentro del coral perforándolo, Fig. 5), podría indicar que en partes los corales habían perdido el tejido orgánico, debido a lesiones en la superficie de las colonias (causado por organismos, por enfermedades o por fracturas), condición que puede favorecer que *Lithophaga* empiece a perforar, continuando luego dentro del esqueleto de la colonia viva.

En las localidades estudiadas se pueden reconocer varios eventos que documentan el inicio de la instalación de una comunidad arrecifal, sobre la cual por medio de contactos erosivos se encuentran sedimentos clásticos de origen continental, sobreyacidos de nuevo por una comunidad arrecifal (Fig.1, nivel b, c, d, e; Fig. 3 nivel c, d, e, f). Estos eventos indican varios episodios de aumento de la energía del medio que interrumpieron el desarrollo de los arrecifes. Esta estructura interna con varios eventos de instalación de parches arrecifales, interrumpidos por sedimentos clásticos, que en conjunto forman una estructura de tamaño mayor, es común en los arrecifes (James 1983). Sin embargo, un examen cuidadoso de la estratigrafía revela que no son una estructura simple, sino una serie de arrecifes sobreimpuestos, que cre-

cen uno encima del otro, aproximadamente en el mismo lugar. Los episodios individuales están comúnmente separados por períodos de exposición reflejados en las rocas por una diagénesis intensa o por arcillas o por la presencia de conglomerados. Cuando sube el nivel del mar empieza otra etapa de diversificación porque las superficies expuestas son sustratos duros y con frecuencia elevados.

En los lugares estudiados parece que se dio un control intrínseco de las asociaciones, debido a que el establecimiento de ciertas comunidades (algas), cambiaron las condiciones e hicieron posible el desarrollo de otras (corales, moluscos). Sin embargo, no puede descartarse un control extrínseco al inicio y al final del desarrollo de los parches, con fluctuaciones de la sedimentación clástica, iniciándose con muy poca sedimentación, la cual permitió la colonización por los pioneros. El final está representado por los conglomerados y/o materiales siliciclásticos superpuestos, que causaron la muerte de los arrecifes.

RESUMEN

Los afloramientos ubicados en Jesús María, Turrialba, Cartago, Costa Rica, consisten de secuencias con espesores entre 12 y 30 m de calizas ("packstones": biolititas, biomicitas; y "wackestones": bioesparitas, biomicroesparitas), areniscas y conglomerados de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, correlacionados con la Formación Punta Pelada. Estas bioconstrucciones se desarrollaron en un ambiente de laguna de circulación abierta pasando en varias ocasiones a ambientes más someros representados por sedimentos clásticos. Son parches arrecifales que presentan una distribución irregular y muy poca extensión lateral (50 m); compuestos por corales (40%), algas calcáreas y foraminíferos (30%), moluscos (20%), y en menor cantidad se encuentran restos de cirripecios, decápodos, equinodermos y briozoos. Constituyeron comunidades de baja diversidad, debido a la conjunción de diversos factores geográficos, geológicos y tectónicos, desarrollada en plataformas continentales estrechas, en ambientes someros, aislados, con variaciones en el nivel del mar y expuestos a una sedimentación clástica variable asociada a un volcanismo

intermitente. La equidad también es muy baja, presentándose en el caso de los corales un predominio claro de *Antiguastrea cellulosa* (80% de los corales presentes).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al proyecto de investigación del CIMAR/Escuela Centroamericana de Geología: Arrecifes fósiles de Costa Rica, # 808-99-237. Nuestro reconocimiento a R. Fischer, P. Denyer y S. Hernández, por su colaboración en las diferentes etapas de éste trabajo y a los revisores por sus valiosos aportes para el mejoramiento del mismo.

REFERENCIAS

- Aguilar, T. 1997. Parches arrecifales de Jesús María (Oligoceno-Mioceno Inferior): Una de las primeras comunidades del actual Caribe de Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San José. 61p.
- Aguilar, T. 1999. Organismos de un arrecife fósil (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), del Caribe de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 47: 453-474.
- Astorga, A., J.A. Fernández, G. Barboza, L. Campos, J. Obando, A. Aguilar & L.G. Obando. 1991. Cuencas sedimentarias de Costa Rica: evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. *Rev. Geol. Amér. Central* 13: 25-59.
- Baumgartner, P., C. Mora, J. Butterlin, J. Sigal, G. Glacon, J. Azéma & J. Bourgeois. 1984. Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central* 1: 57- 136.
- Budd, A. 2000. Diversity and extinction in the Cenozoic history of Caribbean reefs. *Coral Reefs* 19: 25-35.
- Calvo, C. 1987. Las calizas neríticas de la vertiente del norte de Costa Rica y sur de Nicaragua: Épocas y sistemas asociados con la apertura y evolución del margen convergente de la América Central Meridional. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 165 p.
- Cortés, J. 1996/1997. Biodiversidad marina de Costa Rica: Filo Cnidaria. *Rev. Biol. Trop.* 44/45: 323-334.
- Cortés, J. & H.M. Guzmán. 1985. Organismos de los arrecifes coralinos de Costa Rica: Descripción y distribución geográfica de corales escleractinios (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia) de la costa Caribe. *Brenesia* 24: 63-123.
- Dengo, G. 1962. Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional, San José. 112 p.

- Fagerstrom, J.A. 1988. A structural model for reef communities. *PALAIOS* 3: 217-220.
- Fernández, S. 1987. La Tafonomía un subsistema conceptual de la Paleontología. *COLPA*: 41: 10-34.
- Fernández-Solórzano, J. A. 1987. Geología de la hoja topográfica Tucurrique (1: 50 000 IGNCR, # 34451). Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica. 206 p.
- Flügel, E. 1982. *Microfacies Analysis of Limestones*. Springer, Berlín. 633 p.
- Flügel, E. & E. Flügel-Kahler. 1992. Phanerozoic reef evolution: Basic questions and data base. *FACIES* 26: 167-278.
- Frost, S.H., J.L. Harbour, D.K. Beach, M.J. Realini & P.M. Harris. 1983. Oligocene reef tract development, southwestern Puerto Rico. *Sedimenta IX*. University of Miami. 144 p.
- Jackson, J. 1991. Adaptation and diversity of reef corals. *BioScience* 41: 475-482.
- Jackson, J. 1992. Pleistocene perspectives on coral reef community structure. *Amer. Zool.* 32: 719-731.
- James, N. 1983. Reef environment. *Amer. Asso. Petrol. Geol. Memoir* 33: 508-537.
- Sprechmann, P., A. Astorga, A. Fernández & C. Calvo. 1993. Cuadro sinóptico de correlación estratigráfica de las Cuencias Sedimentarias de Costa Rica. Programas y resúmenes de ponencias IV Congreso Geológico Nacional. San José, Costa Rica. 30p.
- Sprechmann, P., A. Astorga, C. Calvo & A. Fernández. 1994. Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America. *Profil* 7: 427-433.
- Thorson, J. 1957. Bottom communities (sublitoral or shallow shelf) p: 461-534. *In* J.W. Hedgpeth (ed.). *Treatise on Marine Ecology and Paleontology*. Waverly, Maryland.